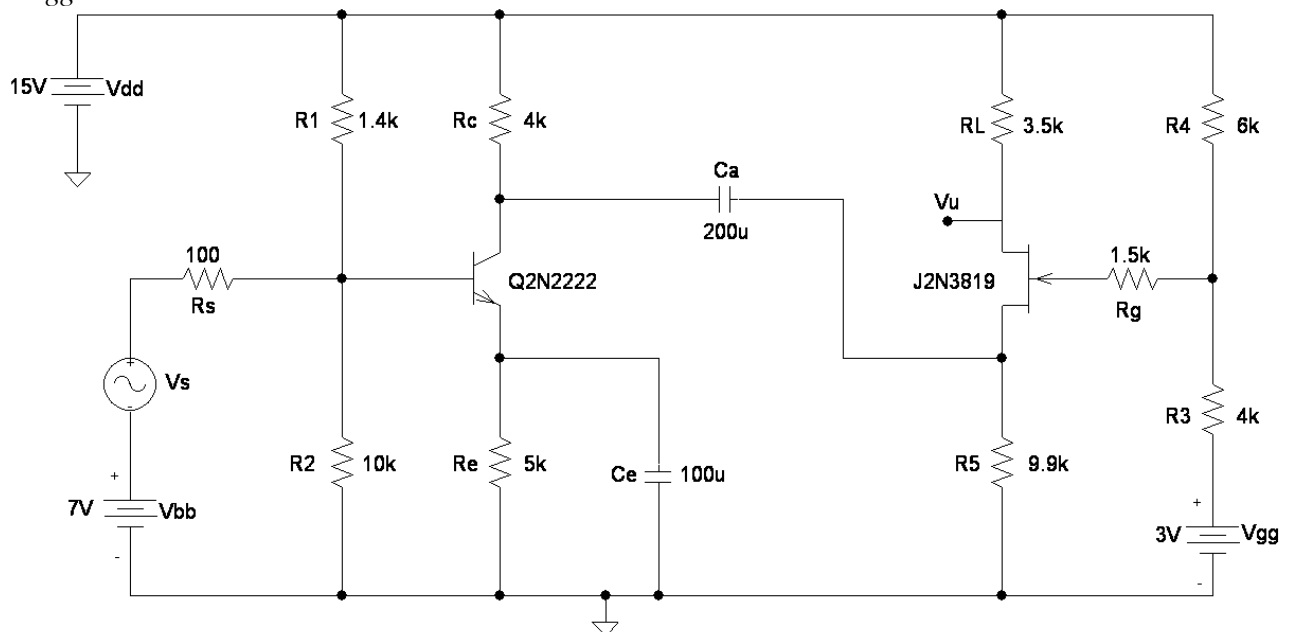


Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
30 gennaio 2013
Parte A

1. Sia dato un amplificatore con $A_v = 1000$, $R_{in} = 100 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 200 \Omega$. Imporre una reazione in modo da ottenere una resistenza d'ingresso maggiore di $1 \text{ M}\Omega$ e una resistenza di uscita di 50Ω (con un errore minore del 5%).
2. Disegnare e dimensionare un filtro biquadratico che abbia uno zero nell'origine e due poli complessi coniugati di valore $sp_{1,2} = -1000 \pm 4000 \text{ rad/s}$. Giustificare in dettaglio il procedimento.
3. Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:
 - il punto di riposo dei due transistori,
 - l'amplificazione V_u/V_s a centrobanda,
 - il limite inferiore di banda

NOTE: Il JFET è un 2N3819 con $r_d \rightarrow \infty$, il BJT è un P2N2222A con $h_{oe} = h_{re} = 0$.

Punteggio totale Parte B: 14.



Es.1

①



- $A_v = 1000$
- $R_{in} = 100 \text{ k}\Omega$
- $R_{out} = 200 \Omega$
- $R_{IF} > 1 \text{ M}\Omega$
- $R_{OF} = 50 \Omega$

Rete del β :



Reazione SP

$$v_f = \beta v_u + R_{of} i_f$$

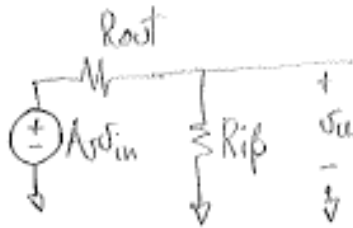
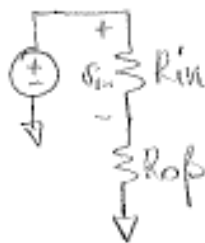
$$i_u = \frac{v_u}{R_{if}} + k i_f$$

$$\beta = \frac{v_f}{v_u} \Big|_{i_f=0} = \frac{-R_1}{R_1 + R_2}$$

$$R_{of} = \frac{v_f}{i_f} \Big|_{v_u=0} = R_1 // R_2$$

$$R_{if} = \frac{v_u}{i_u} \Big|_{v_f=0} = R_2 + R_1$$

Rete per A_e



$$A_e = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{of}} A_v \frac{R_{if} \beta}{R_{if} \beta + R_{out}}$$

$$R_{OF} = \frac{R_{if} \beta // R_{out}}{1 - \beta A_e} \frac{(R_1 + R_2) // R_{out}}{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} A_e} = 50 \Omega$$

$$R_{IF} = \left(\underset{\substack{\uparrow \\ 100 \text{ k}\Omega}}{R_{in}} + \underset{\substack{\uparrow \\ R_1 // R_2}}{R_{of}} \right) (1 - \beta A_e) > 1 \text{ M}\Omega$$

scelgo $R_1 // R_2 \Rightarrow 150 \text{ k}\Omega$

$$1 - \beta A_e = 4 \rightarrow \beta A_e = -3$$

così sono sicuramente soddisfatte entrambe le condizioni:

$$-3 = \beta A_e = \frac{-R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}} \cdot A_v \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_{out}}$$

\uparrow
 $R_1 // R_2$

poiché sia R_1 sia R_2 sono $\Rightarrow 150 \text{ k}\Omega$

possiamo dire che $\frac{R_2}{R_2 + R_{out}} \approx 1$

$$-3 = \frac{-R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}} \cdot A_v$$

\uparrow \uparrow \uparrow
1000

$$+3 = \frac{R_{o\beta}}{R_2} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}} \cdot A_v$$

si scelgo $R_{o\beta} = 160 \text{ k}\Omega$

$$3 = \frac{160 \cdot 100}{260 R_2} \cdot 1000 \rightarrow R_2 = \frac{160 \cdot 100 \cdot 10^3}{260 \cdot 3} = 20.51 \text{ M}\Omega$$

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_{o\beta} \rightarrow R_1 = \frac{R_2 R_{o\beta}}{R_2 - R_{o\beta}} = 161.25 \text{ k}\Omega$$

$i_{in} = i_{out}$

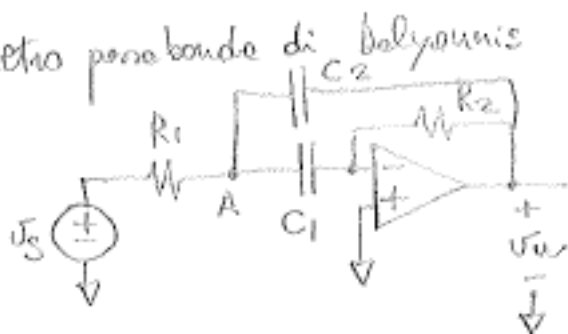
$$\beta A_e = - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_1 // R_2} \cdot A_v \cdot \frac{R_2 + R_1}{R_1 + R_2 + R_{out}} = - \frac{R_1 // R_2 // R_{in}}{R_2 + R_{out}} \cdot A_v = -3$$

$$R_{oF} = \frac{(R_1 // R_2) // R_{out}}{1 - \beta A_e} = 50 \Omega$$

$$R_{iF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1 - \beta A_e) = (100000 + 160000)4 = 1.04 \text{ M}\Omega$$

Es. 2

2) Filtro passa banda di Bode



$$\begin{cases} V_A \left(\frac{1}{R_1} + C_1 s + C_2 s \right) - \frac{V_s}{R_1} - V_u C_2 s = 0 \\ V_A C_1 s = -\frac{V_u}{R_2} \end{cases}$$

$$V_u = -V_A R_2 C_1 s$$

$$-\frac{V_u}{R_2 C_1 s} (1 + R_1 C_1 s + R_1 C_2 s) - \frac{V_s}{R_1} - V_u C_2 s = 0$$

$$\boxed{\frac{V_u}{V_s} = \frac{-R_2 C_1 s}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + R_1 (C_1 + C_2) s + 1}}$$

$$R_1 C_1 R_2 C_2 = \frac{1}{\omega_0^2} = \frac{1}{10^6 + 4 \cdot 10^6} = \frac{1}{5 \cdot 10^6} = \underline{\underline{0.2 \cdot 10^{-6}}}$$

$$R_1 (C_1 + C_2) = 2 \operatorname{Re} \left\{ \frac{1}{s_{p1}} \right\} = \frac{-2 \operatorname{Re} \{ s_{p1} \}}{\omega_0^2} = \frac{2}{5 \cdot 10^6} 10^3 = \underline{\underline{0.4 \cdot 10^{-3}}}$$

poniamo $C_1 = C_2 = C$

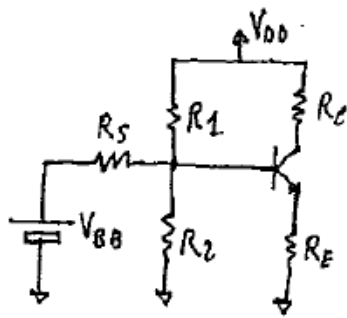
$$\text{RC: } 0.2 \cdot 10^{-3} \rightarrow C = 1 \mu\text{F}$$

$$R_1 = 200 \Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{R_1 C_1 C_2 \omega_0^2} = \frac{0.2 \cdot 10^{-6}}{200 \cdot 10^{-12}} = \underline{\underline{10^3 \Omega}}$$

3 Es.

PUNTO DI RIPOSO BJT:



L'IPOTESI DI PARTITORE PESANTE e

Applichiamo la SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI prodotti dai generatori V_{BB} e V_{DD} sulla base del BJT:

$$V_B = V_{DD} \frac{R_2 \parallel R_S}{R_2 + R_2 \parallel R_S} + V_{BB} \frac{R_2 \parallel R_2}{R_S + R_2 \parallel R_2} \approx 7,5 \text{ V}$$

La tensione di emettitore si ottiene sottraendo la tensione $V_f = 0,7 \text{ V}$:

$$V_E = V_B - V_f = 6,8 \text{ V}$$

A questo punto, considerando la corrente di collettore circa uguale a quella di emettitore, si ricava:

$$I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_E} = 1,4 \text{ mA}$$

Infine, si può calcolare la V_{CE} :

$$V_{CE} = V_C - V_E = V_{DD} - R_C I_C - R_E I_C = 2,4 \text{ V}$$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE:

È necessario verificare che la massima corrente che scorre nel partitore resistivo di polarizzazione sia molto maggiore della corrente di base. Per fare questo si controlla il valore di h_{FE} nel manuale delle caratteristiche:

$$h_{FE} = \frac{h_{FE \text{ MAX}} + h_{FE \text{ MIN}}}{2} \approx \frac{300 + 75}{2} = 187,5$$

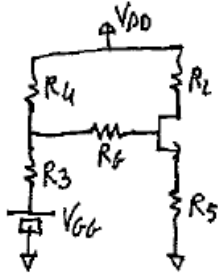
Calcoliamo la corrente nelle resistenze del partitore di corrente:

$$I_{R_S} = \frac{V_B - V_{BB}}{R_S} \approx 5 \text{ mA}, \quad I_{R_2} = \frac{V_{DD} - V_B}{R_2} = 5,4 \text{ mA}$$

$$I_{R_2} = \frac{V_B}{R_2} = 750 \mu\text{A}$$

Allora la corrente di base $I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} \approx 7,5 \mu\text{A}$ è molto minore anche di I_{R_2} (addirittura 10 volte meno). L'ipotesi di partitore pesante è quindi verificata.

PUNTO DI RIPOSO JFET:



Anche in questa applichiamo la SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI di V_{GG} e V_{DD} (ricordando che per la resistenza R_6 non scorre corrente essendo $I_G \approx 0$):

$$V_G = V_{DD} \frac{R_3}{R_3 + R_4} + V_{GG} \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 7,8V$$

A questo punto possiamo calcolare la relazione tra I_{DS} e V_{GS} :

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_5 I_{DS} \Rightarrow I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_5}$$

calcoliamo due punti di questa retta, in modo da poterla tracciare nel grafico $I_{DS}(V_{GS})$ presente nel manuale delle caratteristiche:

$$\begin{cases} V_{GS1} = -1V \Rightarrow I_{DS1} \approx 890\mu A \\ V_{GS2} = -2V \Rightarrow I_{DS2} \approx 990\mu A \end{cases}$$

Tracciando la retta nel manuale delle caratteristiche si trova la seguente intercetta:

$$V_{GS} = -2,1V, \quad I_{DS} = 1mA$$

Infine calcoliamo V_{DS} :

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_5 + R_L) I_{DS} = 4,6V$$

VERIFICA HP. JFET IN SATURAZIONE:

Dovrà essere $V_{GS} > V_{GSoff}$ e $V_{DS} > V_{GS} - V_{GSoff}$. Essendo $V_{GSoff} = -3V$, entrambe le relazioni sono verificate.

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE DEL BJT:

Dal manuale si ricava $h_{fe} = \frac{h_{feMAX} + h_{feMIN}}{2} = \frac{300 + 50}{2} = 175$. Per il calcolo di h_{ie} , si trova:

$$h_{ie @ 1mA} = \frac{2K\Omega + 8K\Omega}{2} = 5K\Omega$$

Visto che $h_{ie} @ 1mA = \frac{V_T h_{fe}}{I_C @ 1mA} = 4,55K\Omega$, si ricava h_{ie}' (che tiene poco conto del punto di riposo e può essere considerato valido anche per la nostra polarizzazione):

$$h_{ie}' = h_{ie} - h_{ie} = 450\Omega$$

A questo punto possiamo calcolare il nostro h_{ie} :

$$h_{ie} = h_{ie} + h_{ie}' = \frac{V_T h_{fe}}{I_C} + h_{ie}' = 3,25K\Omega + 450\Omega = 3,7K\Omega$$

Per il calcolo delle capacità-parametre, ricaviamo dal manuale il valore di f_T e calcoliamo il f_m^{BJT} :

$$f_T \cong 110 \text{ MHz} \quad f_m^{BJT} = \frac{I_c}{V_T} \cong 53,8 \text{ mS}$$

Una volta calcolato $V_{EB} = V_{CE} - V_{BE} = V_{CE} - V_B = 1,7 \text{ V}$, si trova sul manuale il valore di $C_{b'e} \cong 10 \text{ pF}$ e quindi si calcola $C_{b'e}$:

$$C_{b'e} = \frac{f_m^{BJT}}{2\pi f_T} - C_{b'e} \cong 68 \text{ pF}$$

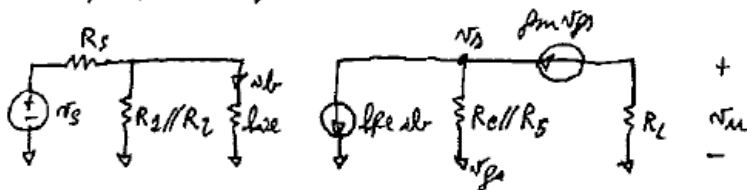
CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE DEL JFET:

Dal manuale si ricava $f_m \cong 2,5 \text{ mS}$, $C_{oss} \cong 2,5 \text{ pF}$ e $C_{rss} \cong 1,3 \text{ pF}$. Calcoliamo le capacità-parametre C_{gs} e C_{gd} :

$$C_{gd} = C_{rss} = 1,3 \text{ pF} \quad , \quad C_{gs} = C_{oss} - C_{rss} = 1,2 \text{ pF}$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA

Come al solito, si disattivano i generatori in continua (V_{DD} , V_{BB} e V_{CC}), si cortocircuitano i condensatori e si sostituiscono ad transistor i loro equivalenti per piccoli segnali:



Partendo da destra verso sinistra:

$$v_u = -R_L g_m v_{gs}$$

Osservando che il GATE è a massa e quindi $v_{gs} = -v_g$, si può scrivere la legge al nodo di SOURCE:

$$I_{DQ} v_g + g_m v_g + \frac{v_g}{R_3 \parallel R_5} = 0 \Rightarrow v_g = -\frac{(R_3 \parallel R_5) I_{DQ}}{1 + g_m (R_3 \parallel R_5)}$$

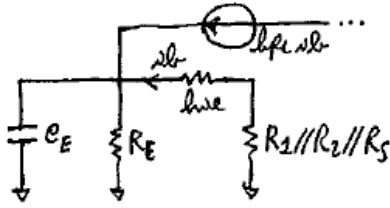
La corrente che scende su R_s è pari a $v_g / (R_s + R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie})$, quindi la v_{gs} si può calcolare sfruttando la formula del partitore di corrente e partendo dalla v_{gs} :

$$v_{gs} = v_{gs} \frac{R_1 \parallel R_2}{h_{ie} + R_1 \parallel R_2} = v_{gs} \frac{1}{R_s + R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie}} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{h_{ie} + R_1 \parallel R_2}$$

Mettendo assieme il tutto, si ricava:

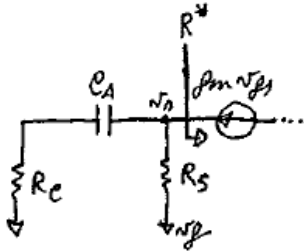
$$A_{vB} = \frac{v_u}{v_s} = -\frac{(R_3 \parallel R_5) I_{DQ}}{R_s + R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie}} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{h_{ie} + R_1 \parallel R_2} \cdot \frac{g_m R_L}{1 + g_m (R_3 \parallel R_5)} \cong -13,1$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA:



Una volta accoppiata la resistenza R_E , c'è ottenuto subito $R_{VEE} = R_E // R^*$, si ricorre a R^* ricordando che è pari alla resistenza sulla base (compresa i_{B1}) diviso per $(\beta + 1)$. Quindi:

$$R_{VEE} \Big|_{C_A \text{ corto}} = R_E // \frac{i_{B1} + R_2 // R_2 // R_S}{\beta + 1} \approx 21,5 \Omega$$



Essendo la $v_{B1} = 0$, $v_{B2} = -v_{B1}$ e quindi la resistenza vista R^* è pari a:

$$R^* = \frac{v_{B1}}{i_{B1}} = \frac{1}{\beta + 1}$$

Quindi risulta:

$$R_{VEE} \Big|_{C_E \text{ corto}} = R_C + R_S // \frac{1}{\beta + 1} \approx 4,38 K\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{C_A R_{VEE}} + \frac{1}{C_E R_{VEE}} \right] \approx 74 Hz$$